

PCT

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION
International Bureau

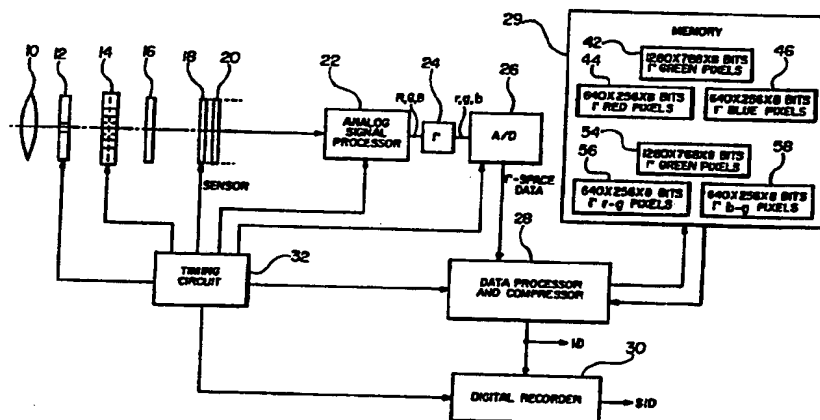
INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification ⁵ : H04N 11/04, 7/133, 9/04		A1	(11) International Publication Number: WO 92/10911
			(43) International Publication Date: 25 June 1992 (25.06.92)
(21) International Application Number: PCT/US91/08767 (22) International Filing Date: 26 November 1991 (26.11.91) (30) Priority data: 625,232 10 December 1990 (10.12.90) US (71) Applicant: EASTMAN KODAK COMPANY [US/US]; 343 State Street, Rochester, NY 14650-2201 (US). (72) Inventors: TSAI, Yusheng, Timothy ; 269 North Creek Crossing, Rochester, NY 14612 (US). DALY, Scott, James ; 1758 Scottsville-Mumford Road, Scottsville, NY 14546 (US). (74) Agent: DUGAS, Edward; 343 State Street, Rochester, NY 14650-2201 (US).		(81) Designated States: AT (European patent), BE (European patent), CH (European patent), DE (European patent), DK (European patent), ES (European patent), FR (European patent), GB (European patent), GR (European patent), IT (European patent), JP, LU (European patent), NL (European patent), SE (European patent). Published With international search report.	

(54) Title: IMAGE COMPRESSION WITH COLOR INTERPOLATION FOR A SINGLE SENSOR IMAGE SYSTEM

(57) Abstract

In accordance with the present invention, the R, G, B color image signals from a single sensor having a color filter array are all transformed to Γ -space by changing them to $R^{1/\Gamma}$, $G^{1/\Gamma}$, $B^{1/\Gamma}$, respectively, where Γ is approximately 2.4. In this space, all operations such as color differencing, interpolation of those missing pixels required for color differencing, compression, decompression, edge enhancement and final interpolation of all missing pixels are performed without further transformation of the image signals. For the same final bit rate, noise in the reproduced image is reduced by refraining from interpolating the missing color pixels prior to compression of the image data. In order to avoid over-emphasizing features of the image which are already sufficiently sharp, the combined outputs of horizontal and vertical sharpening processes are subjected to a paring process of the invention which suppresses strong high-spatial frequency components as a function of their amplitude. In the compression-decompression process of the invention, each spatial frequency coefficient of the spatial frequency-transformed image is divided by a normalization factor determined by cascading in the spatial frequency domain the human visual system contrast sensitivity function, the edge enhancement modulation transfer function and the image display modulation transfer function and inverting the resulting matrix elements.



ており、それによって前記色差信号が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色に対応する装置であって、ここにおいて、

前記第1伸長カラー・データ面の各画素行内において欠測された緑色画素の「空間振幅を垂直に内挿処理することからなる計算用の前記第1計算手段と、

計算用前記第2手段が、

(1) 前記第2及び第3圧縮カラー・データ面のそれぞれの行における欠測された赤色及び青色画素に対応する色差信号「空間振幅を水平に内挿処理する水平内挿処理手段と、

(2) 前記第2及び第3圧縮カラー・データ面の各画素列において欠測された赤色及び青色画素に対応する色差信号「空間振幅を垂直に内挿処理する垂直内挿処理手段と、

からなることを特徴とする装置。

8. 請求項4に記載された装置であって、ここにおいて前記第1出力カラー・データ面が輝度に関連する前記1色に対応し、ここで、前記エッジ強調手段が、

前記第1出力カラー・データ面の「空間画素振幅の各画素列を、帯域通過フィルタを通して「空間画素振幅の対応する列を生成させるために帯域通過フィルタリングするフィルタリング手段と、

前記第1出力カラー・データ面の「空間画素振幅の各画素行を、帯域通過フィルタを通して「空間画素振幅の対応する行を生成させるために帯域通過フィルタリングするフィルタリング手段と、

2次的に帯域通過フィルタを通して「空間画素振幅を生成させるために前記帯域通過フィルタを通して画素行及び列を結合させる結合手段と、

2次的に帯域通過フィルタを通して「空間振幅を削る（ベアリングする）手段であって、それによって、低い振幅を有する高空間周波数成分を昇圧させ、高い振幅を有する高空間周波数成分を抑制するベアリング手段と、

前記ベアリング手段によって生成された「空間画素振幅を、第1、第2、第3の各出力カラー・データ面の対応する画素の振幅に加算する加算手段と、

からなることを特徴とする装置。

9. 請求項8に記載された装置であり、ここで帯域通過フィルタを通して振幅の

前記第1の正規化係数を量子化する量子化手段と、

からなることを特徴とする装置。

13. 請求項12に記載された装置であって、逆変換手段によって生成された画素振幅の画像を表示する表示手段を含み、ここで、カスケードされた振幅伝達関数が前記エッジ強調手段及び前記表示手段の振幅伝達関数に対応していることを特徴とする装置。

14. 請求項13に記載された装置であって、前記カスケードされた振幅伝達関数が人間の視覚コントラストセンシビリティ関数に対応することを特徴とする装置。

15. 請求項14に記載された装置であって、ここで前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する前記正規化配列を生成させる手段が、

前記変換ブロックの画素行と画素列の数から、前記各空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する決定手段と、各係数を画素当りのサイクルにおいて対応する空間周波数でエッジ強調する前記手段の振幅伝達関数の値と関連させる手段であって、それによって、エッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する画素スペーシングから前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する決定手段と、単位距離当りのサイクルにおいて対応する空間周波数を表示する表示手段の振幅伝達関数の値と各係数とを関連させ、それによって表示振幅伝達関数配列を形成させる手段と、

前記表示手段に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する決定手段と、角度あたりのサイクルにおいて対応する空間周波数で人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の値と各係数とを関連させ、それによって、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数配列を形成する形成手段と、

前記配列を一緒にカスケードさせる手段であって、それによって、前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複数の要素のカスケードされた配列を形成させる形成手段と、

カスケードされた配列の各要素を反転させる反転手段と、

からなることを特徴とする装置。

前記の列が帯域通過フィルタを通した振幅の行よりも大きい高空間周波数ノイズを有する装置であって、前記装置が更に、

帯域通過フィルタを通した前記の列を低帯域通過フィルタリングするフィルタリング手段を含むことを特徴とする装置。

10. 請求項8に記載された装置であって、前記出力カラー・データ面の画素の前記振幅を出力カラー調整する調整手段を更に含むことを特徴とする装置。

11. 請求項1に記載された装置であって、ここで、

A) 前記圧縮手段は、

1) 前記各入力カラー・データ面を変換ブロックに分割する分割手段と、

2) 前記各変換ブロックの「空間振幅を空間周波数係数に変換する変換手段と、

3) 前記装置の選択された要素の振幅伝達関数に対応するカスケードされた振幅伝達関数に従い、

前記係数の圧縮バージョンにおいて前記各空間周波数係数を表示するために、コード化ビット数を決定する決定手段と、

4) 前記コード化ビットを算出するためのコード化手段と、

を含み、

B) ここにおいて、前記伸長手段は、

1) 前記コード化ビットを伸長された空間周波数係数に変換する変換手段と、

2) 各変換ブロックの前記の伸長された空間周波数係数を画素振幅に変換する逆変換手段と、

を含むことを特徴とする装置。

12. 請求項11に記載された装置であって、ここで各空間周波数係数を表示するためにコード化されたビットの数を決定する決定手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する正規化配列を生成する生成手段と、

各空間周波数係数を前記正規化配列の対応する要素で除し、それによって、第1の正規化係数を算出する算出手段と、

16. 請求項12に記載された装置であって、前記コード化ビットを伸長空間周波数係数に変換する変換手段が、

前記コード化ビットを復号し、それによって、第2正規化空間周波数係数を算出する復号化手段と、

前記第2正規化空間周波数係数に前記正規化配列の対応する要素を乗じ、それによって、伸長空間周波数係数を算出する計算手段を含むことを特徴とする装置。

17. 請求項15に記載された装置であって、前記圧縮手段が第2または第3入力カラー・データ面を圧縮するときには、必ず所定のファクタによって人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の帯域幅を減少させる減少手段を含むことを特徴とする装置。

18. 請求項17に記載された装置であって、ここで前記画像面の前記3色の画素の空間パターンが異なり、それによって、前記第1、第2、第3入力カラー・データ面の1つが圧縮されることに依存する異なる正規化配列を生成させる前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する決定手段と、

を更に含むことを特徴とする装置。

19. 請求項17に記載された装置であって、ここで前記第2及び第3入力カラー・データ面が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色差信号を含み、前記の所定ファクタが第2入力カラー・データ面では2となり、第3入力カラー・データ面では4となることを特徴とする装置。

20. 請求項11に記載された装置であって、ここで空間周波数係数への前記変換手段が離散的コサイン変換処理を実行し、コード化ビットを生成する前記手段が最小冗長度コードに従い、前記空間周波数係数をコード化するコード化手段を含むことを特徴とする装置。

21. 画素の配列を含む画像データを送受信する装置であって、

A) 前記データを圧縮する送信手段は、

1) 前記各配列の画素を空間周波数係数に変換する変換手段と、

2) 前記データを表示する手段に対応するカスケードされた振幅伝達関数に従い前記係数の圧縮されたバージョン内の多数のビットにより前記各空間周波数係数を表示する表示手段と、からなり、

B) 前記送信手段で圧縮されたデータを伸長する受信手段は、

- 1) 前記係数の前記圧縮されたバージョンから伸長係数を算出する手段と、
- 2) 伸長係数を画素に変換する手段と、

からなることを特徴とする装置。

22. 請求項21に記載された装置であって、ここで前記表示手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する複数の正規化ファクタを有する正規化配列を算出する算出手段と、

正規化係数を算出するために、各空間周波数係数を前記正規化配列における対応するファクタで除する正規化手段と、

前記正規化係数を量子化する手段を含むことを特徴とする装置。

23. 請求項22に記載された装置であって、前記逆変換手段で生成された画素を含む画像をエッジ強調する手段と、前記エッジ強調手段で生成された画素を含む画像を表示する手段を更に含む、そこにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数が前記エッジ強調手段と前記表示手段の振幅伝達関数に対応することを特徴とする装置。

24. 請求項23に記載された装置であって、ここで前記カスケードされた振幅伝達関数が人間の視覚システムコントラストセンシティブィティ関数に対応することを特徴とする装置。

25. 請求項24に記載された装置であって、ここで空間周波数係数に変換する前記手段が画素の配列を画素の複数の変換ブロックに分ける手段と、前記各ブロックの空間周波数変換する手段を含む、ここにおいてカスケードされた振幅伝達関数に対応する前記正規化配列を生成する手段が、

前記各変換ブロック内にある画素の行及び列の数から、前記各空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する手段と、画素当りのサイクルにおいて対応する空間周波数でエッジ強調する前記手段の振幅伝達関数の振幅と各係数とを関連させ、それによってエッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する画素スペーシングから前記各空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する決定手段と、単位距離当りのサイクルにおいて対応空間周波数で前記表示手段の振幅伝達関数の振幅と各係数とを関連させ、それに

段を更に含むことを特徴とする装置。

31. 3色に対応する画素振幅の3列の行と列を含むカラー画像をエッジ強調する装置であって、前記の色のうちの1色が他の色よりも輝度に関連しており、

帯域通過フィルタを通した画素振幅の対応する列を生成させるために、輝度に関連する前記の色の画素振幅各列を帯域通過フィルタリングする手段と、

輝度に関連する前記の色の画素振幅の各行を、帯域通過フィルタを通した画素振幅の対応列を生成するために帯域通過フィルタリングする手段と、

2次的に帯域通過フィルタを通した画素振幅を算出するために、前記帯域通過フィルタを通した画素の行と列を結合する手段と、

前記の2次的に帯域通過フィルタを通した振幅を、低い振幅を有する高空間周波数成分を昇圧させ、高い振幅を有する低空間周波数成分を減衰させるようにベリングする手段と、

2次的に帯域通過フィルタを通した画素の振幅を前記3色それぞれの画素の対応する振幅に加算する手段とを含むことを特徴とする装置。

32. 請求項31に記載された装置であって、ここにおいて、各帯域通過フィルタを通した振幅の各列は各行よりも大きなノイズを有しており、

帯域通過フィルタを通した振幅の各列を低帯域通過フィルタリングする手段を含むことを特徴とする装置。

33. 請求項31に記載された装置であって、前記3色の画素の対応する振幅を出力カラー調整する手段を更に含むことを特徴とする装置。

34. 画素の単一画像面の振幅を表示するカラー画像信号を送信する装置であって、3つの異なる色各々を前記の画素各々が表示し、それによって前記の色の対の画素がそれぞれ個々の画素の位置で欠測され、前記3色のうちの1色が残りの2色よりも輝度との関連が密接である装置であって、前記装置が、

前記各画素の振幅を、その元の値をAからA^{1/Γ}に変えることによって、Γ空間振幅に変換する手段と、ここでΓは実数であり、それによって前記1色の画素のΓ空間振幅は第1入力カラー・データ面を構成し、

前記Γ色の欠測された画素のΓ空間振幅を内挿処理することにより推論する第1推論手段と、

より、表示振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する手段と、角度当りのサイクルにおける対応する空間周波数で人間の視覚コントラストセンシティブィティ関数の振幅と各係数とを関連させる手段であって、それにより、視覚コントラストセンシティブィティ関数配列を形成する手段と、

前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複数の画素のカスケードされた配列を形成するために、前記配列を一路にカスケードする手段と、

カスケードされた配列の各要素を反転する手段と、

を含むことを特徴とする装置。

26. 請求項22に記載された装置であって、ここで前記伸長手段が前記正規化配列内の対応するファクタを各伸長係数に制する逆正規化手段を含むことを特徴とする装置。

27. 請求項25に記載された装置であって、ここで前記配列が、それぞれ、カラー画像の輝度関連成分と一対の色差成分を表示し、前記装置が前記圧縮手段が色差成分の係数を圧縮するときは常に、所定のファクタによって人間の視覚コントラストセンシティブィティ関数の帯域幅を減少させる手段を更に含むことを特徴とする装置。

28. 請求項27に記載された装置であって、ここにおいて前記成分の画素の空間パターンが異なり、それによって、前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する前記手段が画素の配列の1つが圧縮されることに依存する異なる正規化配列を生成することを特徴とする装置。

29. 請求項27に記載された装置であって、ここで前記色差成分が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色成分を含み、ここにおいて前記所定のファクタが赤色マイナス緑色成分では2となり、青色マイナス緑色成分では4となることを特徴とする装置。

30. 請求項21に記載された装置であって、ここにおいて空間周波数係数に変換する前記手段が前記離散コサイン変換処理を実行する手段を含む、ここにおいて前記圧縮手段が最小冗長度コードに従い前記空間周波数係数をコード化する手

前記残りの各色の対応する画素のΓ空間振幅から前記1色の欠測された画素のΓ空間振幅をそれぞれ、減算することによって、それぞれの色差信号の第2及び第3入力カラー・データ面を形成する手段と、

前記各入力カラー・データ面を、対応する第1、第2、第3圧縮カラー・データ面を形成するために圧縮する手段とを含むことを特徴とする装置。

35. 請求項34に記載された装置であって、ここで前記画像面がカラー・フィルタ・アレイに対応し、前記の輝度に関連する1色が緑色であり、前記の残りの色は赤色と青色であり、Γが約2、4であることを特徴とする装置。

36. 請求項34に記載された装置であって、前記の圧縮カラー・データ面を記録する手段を更に含むことを特徴とする装置。

37. 請求項34に記載された装置であって、ここで前記圧縮手段が、

- 1) 前記各入力カラー・データ面を変換ブロックに分割する手段と、
- 2) 前記各変換ブロックの空間振幅をΓ空間周波数係数に変換する手段と、
- 3) 画像出力要素の振幅伝達関数に対応するカスケードされた振幅伝達関数に従い、前記係数の圧縮バージョンで前記空間周波数係数を表示するためにコード化ビット数を決定する手段と、
- 4) 前記コード化ビットを生成するコード化手段、

を含むことを特徴とする装置。

38. 請求項37に記載された装置であって、ここにおいて各空間周波数係数を表示するためにコード化ビット数を決定する前記手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する正規化配列を生成する手段と、

前記の正規化配列に対応する要素によって各空間周波数係数を除する正規化手段であって、それによって第1の正規化係数を算出する正規化手段と、

第1正規化係数を量子化する手段を含むことを特徴とする装置。

39. 請求項38に記載された装置であって、前記カスケードされた振幅伝達関数が、エッジ強調装置と画像表示装置の振幅伝達関数に対応することを特徴とする装置。

40. 請求項39に記載された装置であって、ここで、前記カスケードされた振幅伝達関数が、人間の視覚コントラストセンシティブィティ関数に更に対応するこ

とを特徴とする装置。

41. 請求項40に記載された装置であって、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する前記正規化配列を生成する手段が、

前記各変換ブロックの画素行及び画素列の数から、前記空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する手段と、各係数を画素当りのサイクルにおいて対応する空間周波数でエッジ強調する前記装置の振幅伝達関数の値と関連させ、それによって、エッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

表示手段に対応する画素スペーシングから前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する手段と、対応する空間周波数で単位距離当りのサイクルにおいて画像表示する前記装置の振幅伝達関数の値と係数を関連させ、それにより、表示振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記画像表示装置に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する手段と、角度当りのサイクルにおいて対応する空間周波数で人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の値と各係数とを関連させ、それにより、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数配列を形成する手段と、

前記配列を一様にカスケードさせる手段であって、それにより、前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複数の要素のカスケードされた配列を形成する手段と、

カスケードされた配列の各要素を反転させ、正規化配列を形成させる手段を含むことを特徴とする装置。

42. 請求項41に記載された装置であって、前記圧縮手段が前記第2または第3の人力カラー・データ面を圧縮するときに、必ず、所定のファクタで人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の帯域幅を減少させる手段を更に含むことを特徴とする装置。

43. 請求項42に記載された装置であって、ここにおいて前記画像面の前記3色の画素の空間パターンが異なり、それによって、前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する前記手段が第1、第2または第3の人力カラー・データ面の1つを圧縮することに依存する、異なる正規化配列を生成することを

特徴とする装置。

44. 請求項42に記載された装置であって、ここにおいて前記第2及び第3の人力カラー・データ面が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色差信号を含み、ここにおいて、前記所定のファクタが第2人力カラー・データ面では2となり、第3人力カラー・データ面では4となることを特徴とする装置。

45. 請求項37に記載された装置であって、ここにおいて空間周波数係数への前記変換手段が離散コサイン変換処理を実行する手段を含み、ここにおいてコード化ビットを生成する前記手段が最小冗長度コードに従い、前記空間周波数係数をコード化する手段を含むことを特徴とする装置。

46. 画素の配列を含む画像データを送信する装置であって、

1) 前記各配列の画素を空間周波数係数に変換する手段と、

2) 前記データを表示することによってカスケードされた振幅伝達関数表示手段に従い前記係数の圧縮されたバージョン内の多数のビットにより前記各空間周波数係数を表示する手段、

とを含むことを特徴とする装置。

47. 請求項46に記載された装置であって、ここで前記表示手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する複数の正規化ファクタを有する正規化配列を生成する手段と、

正規化係数を生成させるために、各空間周波数係数を前記正規化配列の対応する係数で除するための正規化手段と、

前記正規化係数を量子化する手段と、

を含むことを特徴とする装置。

48. 請求項47に記載された装置であって、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数がエッジ強調手段のエッジ強調振幅伝達関数と画像表示手段の表示振幅伝達関数に対応することを特徴とする装置。

49. 請求項48に記載された装置であって、ここにおいて、前記カスケードされた振幅伝達関数が人間の視覚システムコントラストセンシビリティ関数に対応することを特徴とする装置。

50. 請求項49に記載された装置であって、ここにおいて空間周波数係数に

換する前記手段が画素の配列を画素の複数の変換ブロックに分ける手段と前記各ブロックを空間周波数変換する手段を含み、ここにおいて前記変換手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数を計算する手段を含み、その手段が、

前記各変換ブロック内にある画素の行及び列の数から、前記空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する手段と、画素当りのサイクルにおいて対応する空間周波数でエッジ強調の振幅伝達関数の振幅と各係数を関連させ、それによってエッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示振幅伝達関数に対応する画素スペーシングから前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する手段と、単位距離当りのサイクル単位における対応する空間周波数で表示振幅伝達関数の振幅と係数を関連づけ、それにより、表示振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示振幅伝達関数に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する手段と、角度当りのサイクルにおいて対応する空間周波数で人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の振幅と各係数とを関連させ、それにより、視覚コントラストセンシビリティ関数配列を形成する手段と、

前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複数の要素のカスケードされた配列を形成するために、前記配列と共にカスケードする手段と、

カスケードされた配列の要素を反転させる手段を含むことを特徴とする装置。

51. 請求項50に記載された装置であって、ここで前記画素の配列が、それぞれ、カラー画像の輝度関連成分と一対の色差成分を示し、前記圧縮手段が色差成分の係数を圧縮するときは常に、所定のファクタによって前記人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の帯域幅を減少させる手段を更に含むことを特徴とする装置。

52. 請求項51に記載された装置であって、ここにおいて前記成分の画素の空間パターンが異なり、それによって、前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する前記手段が画素の配列の1つが圧縮されていることに依存する異なる正規化配列を生成することを特徴とする装置。

53. 請求項51に記載された装置であって、ここにおいて前記色差成分が赤色

マイナス緑色及び青色マイナス緑色差成分を含み、ここにおいて前記所定のファクタが赤色マイナス緑色成分では2となり、青色マイナス緑色成分では4となることを特徴とする装置。

54. 請求項46に記載された装置であって、ここで空間周波数係数に変換する前記手段が離散コサイン変換処理を実行する手段を含み、前記表示手段が最小冗長度コードに従い、前記空間周波数係数をコード化する手段を含むことを特徴とする装置。

55. 画素の単一画像面の「空間振幅 $A^{1/\Gamma}$ 」に対応する圧縮されたデータを含むカラー画像信号を受信する装置であって、前記画素のうちの1色が異なる3色各々の一色を表示し、それによって、前記の色の対の画素が個々の画素の位置で欠測され、前記3色のうちの1色が残りの2色よりも輝度に関連が深く、前記圧縮データは前記1色の画素の「空間振幅を含む第1圧縮カラー・データ面を構成し、第2及び第3圧縮カラー・データ面は前記残りの各色の対応する画素の「空間振幅から、前記1色の欠測された画素の内挿処理された「空間振幅を減算することによって形成された各色差信号を含み、前記装置は、

前記第1、第2、第3圧縮カラー・データ面に対応する「空間振幅の第1、第2、第3伸長カラー・データ面を形成するために、前記圧縮データを伸長する手段と、

前記第1、第2、第3の伸長カラー・データ面を前記3色のそれぞれの色の画素の「空間振幅の第1、第2、第3出力カラー・データ面に変換する手段と、

前記第1、第2、第3出力カラー・データ面をエッジ強調する手段と、

前記出力カラー・データ面の画素の各「空間振幅 $A^{1/\Gamma}$ 」を振幅 A に逆変換する手段とを含むことを特徴とする装置。

56. 請求項55に記載された装置であって、ここにおいて前記画像面がカラー・フィルタ・アレイに対応し、前記の輝度に関連する1色が緑色であり、前記の残りの色は赤色と青色であり、「 Γ 」が約2、4であることを特徴とする装置。

57. 請求項55に記載された装置であって、ここにおいて前記カラー画像信号が既に記録されており、前記装置が前記カラー画像信号を再生する手段を更に含むことを特徴とする装置。

58. 請求項5に記載された装置であって、ここにおいて前記変換手段が前記伸長カラー・データ面から前記3色の欠測画素の「空間振幅」を決定する手段を含むことを特徴とする装置。

59. 請求項58に記載された装置であって、ここにおいて前記決定手段が、

前記第1出力カラー・データ面を生成するために、第1伸長カラー・データ面から前記1色の欠測画素の内挿処理した「空間振幅」を計算する第1手段と、

前記1色の内挿処理された前記「空間振幅」を前記第2及び第3伸長カラー面の対応する「空間色差信号振幅」に加算する第2手段を含むことを特徴とする装置。

60. 請求項59に記載された装置であって、前記決定手段が、

前記第2及び第3伸長カラー・データ面から前記残りの色の欠測画素に対応する色差信号の内挿処理された「空間振幅」を計算する第2計算手段と、

前記第1の伸長カラー・データ面の画素の「空間振幅」を前記第2計算手段によって計算された前記内挿処理色差信号「空間振幅」の対応するものに加算し、それによって、前記残りの色の欠測画素の内挿処理「空間振幅」を生成する第2加算手段を含むことを特徴とする装置。

61. 請求項60に記載された装置であって、ここにおいて前記画像面は前記画素の平面配列内にある画素行及び列を含み、前記の輝度に関連する色が緑色であり、前記画像面のn番目の画素行毎に欠測された画素を有し、前記残りの色が赤色と青色であり、前記画像面のn番目の行ごとに前記の残りの色のいずれかの画素が選択され、それによって前記色差信号が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色に対応しており、ここにおいて、

前記第1計算手段が、前記第1伸長カラー・データ面の各画素列内で欠測される緑色画素の「空間振幅」を垂直に内挿処理する手段を含み、

前記第2計算手段が、

前記第2及び第3圧縮カラー・データ面の、それぞれの画素の行において欠測されている赤色及び青色画素に対応する色差信号「空間振幅」を水平に内挿処理する手段と、

前記第2及び第3圧縮カラー・データ面の各画素列中の欠測されている赤色及び青色画素に対応する色差信号「空間振幅」を垂直に内挿処理する手段と、

によって逆正規化された空間周波数係数を算出させる逆正規化手段と、

3) 逆正規化された空間周波数係数の各変換ブロックを画素振幅のブロックに逆変換する手段であって、それによって、前記第1、第2、第3圧縮解除カラー・データ面を生成させる逆変換手段と、

かかることを特徴とする装置。

66. 請求項65に記載された装置であって、ここにおいて前記の伸長された正規化係数を算出する手段が、

最小冗長度コードに従い前記記録データを復号する手段であって、それによって伸長された正規化空間周波数係数を算出する手段を含み、

ここにおいて、前記逆正規化手段が、

前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する正規化配列に対応する要素を、前記伸長された正規化空間周波数係数に割る方法であって、それによって、前記逆正規化された空間周波数係数を算出する手段を含むことを特徴とする装置。

67. 請求項66に記載された装置であって、更に逆変換手段によって生成させた画素振幅を含む画像を表示する手段を含む装置であって、ここにおいて、前記カスケードされた振幅伝達関数がエッジ強調手段と前記表示手段の振幅伝達関数の振幅伝達係数に対応することを特徴とする装置。

68. 請求項67に記載された装置であって、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数が人間の視覚コントラストセンシビリティ関数に更に対応することを特徴とする装置。

69. 請求項68に記載された装置であって、更に前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する前記正規化配列を生成させる手段を含み、

前記各変換ブロックの画素行と画素列の数から、前記各空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する手段と、各係数を画素当りのサイクルにおける対応空間周波数で前記エッジ強調手段の振幅伝達関数の値と関連させ、それによって、エッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する画素スペーシングから前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する手段と、単位距離当りのサイクルにおける対応する空間周波数で前記表示手段の振幅伝達関数の値と各係数を関連させ、それにより、

を含むことを特徴とする装置。

62. 請求項58に記載された装置であって、ここにおいて第1出力カラー・データ面が輝度に関連する前記1色に対応し、前記画像強調手段が、

帯域通過フィルタを通した「空間画素振幅」の対応する列を生成するために、前記第1出力カラー・データ面の「空間画素振幅」の各画素列を帯域通過フィルタリングする手段と、

帯域通過フィルタを通した「空間画素振幅」の対応行を生成するために前記第1出力カラー・データ面の「空間画素振幅」の各画素行を帯域通過フィルタリングする手段と、

前記の帯域通過フィルタを通した画素の行と列を、2次元的に帯域通過フィルタを通した「空間画素振幅」を生成するために結合させる手段と、

前記の2次元の帯域通過フィルタを通した「空間振幅」をベアリングし、それによって、低い振幅を有する高空間周波数成分を昇圧させ、高い振幅を有する高空間周波数成分を抑制する手段と、

前記ベアリング手段によって生成させた「空間画素振幅」を、前記第1、第2、第3出力カラー・データ面における対応する画素の振幅に加算する手段を含むことを特徴とする装置。

63. 請求項62に記載された装置であって、ここにおいて前記帯域通過フィルタを通した振幅の列が帯域通過フィルタを通した振幅の行よりも大きい高空間周波数ノイズを有し、前記装置が更に、

前記の帯域通過フィルタを通した振幅の列を低帯域通過フィルタリングする手段を含むことを特徴とする装置。

64. 請求項62に記載された装置であって、更に前記出力カラー・データ面の画素の振幅を調整する出力カラー調整手段を含むことを特徴とする装置。

65. 請求項59に記載された装置であって、ここにおいて前記圧縮データが圧縮された正規化空間周波数係数を含み、ここにおいて前記伸長手段が、

1) 前記圧縮正規化係数から伸長された正規化係数を算出する手段と、

2) 前記装置の選択された要素の振幅伝達関数に対応するカスケードされた振幅伝達関数に従い、前記伸長係数を逆正規化する手段であって、それ

表示振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する手段と、角度当りのサイクルにおいて対応空間周波数で人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の値と係数を関連づけ、それにより、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数配列を形成する手段と、

前記配列を一括にカスケードする手段であって、それによって前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複数要素のカスケードされた配列を形成する手段と、

前記カスケードされた配列の要素を反転させる手段を含むことを特徴とする装置。

70. 請求項69に記載された装置であって、更に、前記圧縮手段が前記の第2または第3入力カラー・データ面を圧縮するときは、常に所定のファクタによって人間の視覚コントラストセンシビリティ関数の帯域幅を減少させる手段を含むことを特徴とする装置。

71. 請求項70に記載された装置であって、ここにおいて前記画像面の前記3色の画素の空間パターンが異なり、それによって、前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する前記手段が前記第1、第2または第3入力カラー・データ面の1つを圧縮することに依存する異なる正規化配列を生成することを特徴とする装置。

72. 請求項70に記載された装置であって、ここにおいて前記第2及び第3入力カラー・データ面が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色色差信号を含み、ここにおいて、所定のファクタが第2入力カラー・データ面では2となり、第3入力カラー・データ面では4となることを特徴とする装置。

73. 請求項65に記載された装置であって、ここにおいて前記伸長空間周波数係数を逆変換する手段が逆の離散コサイン変換を実行することを特徴とする装置。

74. 圧縮された正規化空間周波数係数の配列を含む画像データを受信する装置であって、

1) 前記圧縮された正規化係数から伸長された正規化係数を算出する手段と、

2) 前記伸長された正規化係数を、画像出力手段を示すカスケードされた

振幅伝達関数に従い逆正規化された係数を算出するために逆正規化を行う手段と、

3) 前記逆正規化した空間周波数係数の個々の変換ブロックを画素のブロックに変換する手段と、

を含むことを特徴とする装置。

75. 請求項74に記載された装置であって、ここにおいて前記逆正規化手段が、前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する複数の正規化ファクタを有する正規化配列を生成する手段と、

逆正規化係数を算出するために、前記正規化配列中で対応するファクタに各空間周波数係数を割る手段と、

を含むことを特徴とする装置。

76. 請求項75に記載された装置であって、更に前記逆変換手段で生成された画素を含む画像をエッジ強調する手段と、前記エッジ強調手段で生成された画素を含む画像を表示する手段を含み、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数が前記エッジ強調手段と前記表示手段の振幅伝達関数に対応することを特徴とする装置。

77. 請求項76に記載された装置であって、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数がヒト視覚システムのコントラストセンシティブィ関数に更に対応することを特徴とする装置。

78. 請求項77に記載された装置であって、ここにおいて前記カスケードされた振幅伝達関数に対応する前記正規化配列を生成させる手段が、

前記各変換ブロック内にある画素の行と列の数から、前記空間周波数係数の画素当りのサイクル数を決定する手段と、画素当りのサイクルにおいて対応する空間周波数でエッジ強調する前記手段の振幅伝達関数の振幅と各係数を関連させる手段であって、それによってエッジ強調振幅伝達関数配列を形成する手段と、

前記表示手段に対応する画素スペーシングから前記空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する手段と、単位距離当りのサイクルにおける対応空間周波数で前記表示手段の振幅伝達関数の振幅と各係数を関連させ、それにより、表示振幅伝達関数配列を形成する手段と、

明細書

シングル・センサ画像システム用のカラー内挿処理を伴う画像圧縮

技術分野

本発明は、カラー画像信号の圧縮に係わり、例えば、輝度関連成分（例えば、緑色）に関しクロミナンス（chrominance）関連成分（例えば、青色と赤色）をサブサンプリングされるシングル・センサ3色フィルタ配列によって生成されるカラー画像信号の圧縮に関する。

背景技術

シングル・センサのみを採用している電子カラー・カメラは3種類の別個のセンサ（例えば、赤、緑、青の各センサ）を採用している電子カラー・カメラに比べ、非常に経済的である。シングル・イメージ・センサ（CCDイメージャー（image）集積回路等）を使用すれば、センサにカラー・フィルタアレイを付けるだけで、カラー画像信号を生成できる。カラー・フィルタアレイを利用すれば、所定のパターンで異なる色の光を、センサの異なる画素要素（画素）に照射させることが可能である。典型的には、3色のうちの1色（通常は緑色）は画像の輝度成分に最も密接に関連し、残りの2色（通常は赤色及び青色）は画像のクロミナンス成分に最も密接に関連する。シングル・センサを利用する場合は、各センサ画素は1の色を検出するため、事実上他の色を「欠測」することになり、必然的に画像の各カラー成分の解像度は低下する。再生画像においては、このような与えられたカラーにとつての「欠測」画素を、内挿処理により推定しなければならない。こうした内挿処理は、人間の眼で知覚できるほどよくない再生画像に歪をもたらす。人間の視覚は、こうした歪のうち輝度成分に最も敏感である。

人間の肉眼によって知覚されるこうした歪みを最小限に抑え、満足に足る再生画像を提供するために、クロミナンス関連画素（例えば、赤色と青色）を犠牲にして、輝度関連の画素（例えば、緑色）の解像度（または画素密度）を向上させ

前記表示手段に対応する視距離から前記空間周波数係数の視覚走査角度当りのサイクル数を決定する手段と、角度当りのサイクル単位において対応空間周波数で人間の視覚コントラストセンシティブィ関数の振幅と各係数を関連させ、それによって、視覚のコントラストセンシティブィ関数配列を形成する手段と、前記カスケードされた振幅伝達関数を含む複素要素のカスケードされた配列を形成するために、

前記配列と共にカスケードする手段と、

カスケードされた配列の要素を逆転する手段を含むことを特徴とする装置。

79. 請求項78に記載された装置であって、前記配列が、それぞれ、カラー画像の輝度関連成分と一対の色差成分を示し、前記装置が更に、前記圧縮手段が色差成分の係数を圧縮するときは常に、所定のファクタで人間の視覚コントラストセンシティブィ関数の帯域幅を減少させる手段を含む装置。

80. 請求項79に記載された装置であって、前記成分の画素の空間パターンが異なり、それによって、空間周波数係数の単位距離当りのサイクル数を決定する手段が画素の配列の1つを圧縮されることに依存する異なる正規化配列を生成することを特徴とする装置。

81. 請求項79に記載された装置であって、色差成分が赤色マイナス緑色及び青色マイナス緑色差成分を含み、ここにおいて前記所定のファクタが赤色マイナス緑色成分では2となり、青色マイナス緑色成分では4となることを特徴とする装置。

82. 請求項74に記載された装置であって、ここにおいて、前記の逆正規化係数を逆変換する手段が逆離散コサイン変換処理を実行する手段を含み、伸長した正規化係数を生成する前記手段が最小冗長度コードに従い前記圧縮係数を含むデータを復号する手段を含むことを特徴とする装置。

る。特に、カラー・フィルタ・アレイのカラー・パターンは、大半のセンサ画素が光の輝度関連成分（緑色）を受信し、残りの画素はクロミナンス関連カラー（例えば、赤色と青色）を受信するようにする。例えば、既知のカラー・フィルタ・アレイ（3Gカラー・フィルタ・アレイと呼ばれる）は、緑色画素3行とその後に続く赤色と青色が交互に並ぶ行とから構成され、画素全体の3/4が緑色で、青色と赤色の画素がそれぞれ画素全体の1/8ずつを占めている。

イメージ・センサ、カラー・フィルタ・アレイの組合せ、及び欠測クロミナンス関連画素を計算することによって生成された信号からカラー画像を再生する場合、各緑色画素と同じ場所のクロミナンス関連画素（赤色及び青色）の緑色画素に対する比率を内挿処理することによって、肉眼で知覚される歪はさらに減少される。この方法は（必ずしも全ての歪を減少させる訳ではないが）、歪の輝度成分が減少するように示されるので、肉眼で検知される歪をうまく減少できる。

各画素の輝度そのものではなく、各画素の輝度の対数値を使用した強度値のカラー内挿処理を実行することによって、更なる改良が達成される。この特徴はカラー信号を組み合わせる際に含まれる非線形関係にあるため、再生画像の色の忠実度を向上させる。このことは既知であり、ここでは説明を要しない。1つの利点は、例えば、

$$\log R/G = \log R - \log G$$

$$\log B/G = \log B - \log G$$

となるので、この特徴が、比よりもむしろ色差信号での内挿処理を可能とする点にある。

カラー画像信号処理方式については1989年7月24日にYusheng T. Tsai, Kenneth A. Parulski 及びMajid Rabbani が「シングル・センサ・カラー・イメージング・システム用圧縮方法及び装置」という表題で出願した、米国特許出願番号No. 384, 353に記載されているが、これは本発明の譲受人に譲渡されている。引用された出願には、画像圧縮システムにおいて上記の方法がどのよ

うに適用されるかについて記載されている。引用された特許出願では、欠測画素の内挿処理に先立つ圧縮が開示されている。画像圧縮システムでは、Scott J. Daly 等によって出願され、本発明の譲受人に譲渡された米国特許出願番号 No. 4, 780, 761 に記載されているように、画像信号の各空間周波数成分を示すデジタル・データを圧縮する量は、人間の目のコントラストセンシティブティ機能を補償するように変化する。

緑色信号は輝度成分に最も密接に関係するため、線形的に内挿処理することが好ましい。先行技術の問題点は、色差信号を最適に内挿処理できるように、赤色、緑色、青色の信号を対数変換しなければならない点にある。これは結果的に多量の変換が必要となり、処理上の大きな負担となる。

もう一つの問題は、鮮鋭化やエッジ強調等の画像処理が、圧縮・伸長処理によって再生画像にもたらされる可視の歪を増大させる可能性がある点にある。関連する問題として、画像表示（カラー・ビデオ・モニタあるいはカラー・ペーパー印刷等）によって導入される振幅伝達関数が、圧縮・伸長処理により画像にもたらされる可視の歪に影響を与え得ることである。

更に他の問題点を挙げると、人間の目のコントラストセンシティブティ関数は輝度関連の緑色信号よりは、色差信号に対して低周波数応答を有する。先行技術が輝度画素に関してカラー画素をサブサンプリングし、人間の視覚システムの見地から調整を行うことを教示しているが、それに倣う方法が必要である。特に、3Gカラー・フィルタ・アレイの場合はこれに該当し、赤色及び青色の画素のサブサンプリングは非等方的となり、配列の行方向よりも配列の列方向で2倍大きくなる。

更に、別の問題点を挙げると、エッジ強調処理は既に充分鮮鋭な画像特性を過度に強調する傾向がある。これは画像のエッジ強調に伴う避けられない結果である。それゆえに、充分鮮鋭な画像特性を過度に強調しないエッジ強調処理が必要である。これに関連する問題として、CCD画像センサがCCD電荷転送ノイズ

発明の開示

本発明によれば、カラー・フィルタ・アレイを有するシングル・センサから得たカラー画素の振幅は、それぞれ、 $1/\sqrt{2}$ 乗して「空間に全て変換される。ここで、「は約2.4とする。例えば、カラー・フィルタ・アレイが赤色、緑色、青色のカラー画素振幅（R、G、B）を提供する場合、変換により $R/\sqrt{2}$ 、 $G/\sqrt{2}$ 、 $B/\sqrt{2}$ である「空間カラー信号が提供される。色差生成、色差生成に要求される全ての欠測画素の内挿処理、圧縮/伸長、エッジ強調及び最終内挿処理に要求されるすべての操作は、画像信号を更に変換することなく、「空間で行なわれる（この変換は、IEEE Trans. Sys. Man, Cyber. Vol. SMC-17 #4: 1987 622-634 由 Sezan, Yip, Daly が示した「均等知覚量子化：デジタルラジオグラフィへの応用」に記載されたように、輝度の対数を使用する他の方式と比べ、再生の忠実度を向上させ、可視量子化ノイズを減少させるために他の出願で使用された）。本発明で実現された利点は、不要な変換ステップの排除であり、「空間内で全てのステップを実行することによって、信号処理全体が大幅に単純化され、誤差の原因が減少する。本発明の好ましい実施例では、内挿処理されていない「空間画像データが記録、格納または伝送のために圧縮され、その後、内挿処理により欠測画素が推定される前に伸長が行われる。

本発明のエッジ強調または画像鮮鋭化処理では、「空間輝度関連信号（RGBカラー信号の場合の緑色信号）は、信号を他の空間に変換せずに、独立して縦軸と横軸に沿って高空間周波数成分を強調することによって、鮮鋭化される。CCD伝送ノイズがセンサ出力信号にもこまれる非等方的な方法により、信頼できないまたはノイズのある高空間周波数画像成分を過度に強調しないように、横軸鮮鋭化処理の出力と結合される前に、縦軸鮮鋭化処理の出力にトランスバースフィルタあるいは低帯域通過フィルタをインポーズ（impose）する。既に十分に鮮鋭な画像の特性を過度に鮮鋭化しないように、水平及び垂直な鮮鋭化処理の結合出力は、本発明のベアリング（pairing）処理を受け、本発明のベアリング処理はそれらの振幅の関数として強い高空間周波数成分を抑制する。

を非等方的な形でその出力信号に流入させるという問題があり、これは画像の他の軸に沿って配置されているエッジ特性よりも画像のある軸に沿って配置されているエッジ特性や高空間周波数テクスチャに多くの影響を与える。エッジ強調はこのノイズを強調する傾向がある。

従って、いかなる対数変換をも必要とせず、シングル・センサ/カラー・フィルタ・アレイの組合せから画像を再現することが何よりも本発明の目的である。

また、同一の色彩空間で画像信号の全ての成分の処理と圧縮を行い、それによって必要とされる変換の数を最小限に抑えることも本発明の目的である。

また、圧縮/伸長画像処理によって生じる可視の誤差に関し、エッジ強調処理の効果と画像表示の効果とを自動的に補償することも本発明の目的である。

また、それぞれの成分に最も適した画像の異なる（輝度関連及びクロミナンス関連）成分に対し、圧縮・伸長処理する際に異なる適切な補正を提供することも、本発明の目的である。

また、カラー・フィルタ・アレイの緑色、赤色、青色の画素の非等方的パターンによる異なる画像成分と、色差信号に対する人間の視覚システムの低周波数応答に一致する異なる画像成分とに対し、圧縮・伸長処理における異なる適切な補正を提供することも、本発明の目的である。

また、既に充分鮮鋭な画像特性を過度に強調せず、画像データを他の色彩空間に変換（例えば、対数変換または逆対数変換）する必要の無いエッジ強調処理を提供することも、本発明の目的である。画像の他の軸に沿って配置された特性のエッジ強調の特徴を減らすことなく、ある軸に沿って高空間周波数画像特性に影響を与えるCCD伝送ノイズを強調することを抑制するエッジ強調処理を提供することも、本発明の関連する目的である。

本発明は、データ圧縮処理によって生じた可視の歪に対して、カラー画像表示システムまたは媒体とエッジ強調処理の振幅伝達関数の効果を補償する。この補償はデータ圧縮処理で達成されるが、これは画像データがブロックに分断され、各ブロックは空間周波数係数のブロックに変換される必要がある。本発明によれば、各空間周波数係数のビット解像度は、係数を正規化係数のアレイから得た対応正規化ファクタで除することによって決定される。正規化ファクタのアレイは（実際には）空間周波数領域に人間の視覚システムコントラストセンシティブティ関数、エッジ強調振幅伝達関数、画像表示振幅伝達関数などにカスケードされ、その結果カスケードされた伝達関数における各要素の逆数をとって決定される。

好ましくは、人間の視覚コントラストセンシティブティ関数、エッジ強調振幅伝達関数、表示振幅伝達関数などは、画像データの空間周波数係数のブロックに対応する空間周波数領域振幅要素の配列を構成する。このようにして形成された配列はその後カスケードされる。これは、まず、位置対空間周波数変換のパラメータから、ブロック内で各空間周波数係数のブロック当りのサイクル数を決定するという斬新な方法で行われる。次に、ブロック内の各空間周波数係数用のブロック当りの画素数から、画素当りのサイクル数が決定される。この情報はエッジ強調振幅伝達関数を示す対応配列を構成するときに使用される。次に、ブロック内の各空間周波数係数の表示をスペーシング（spacing）する画素から、単位距離当りのサイクル数が決定される。この情報は画像表示または媒体の振幅伝達関数を示す対応配列を構成するときに使用される。最後に、視覚走査角度当りのサイクル数は、ブロック内の各空間周波数係数に関する表示の視距離特性から決定される。この情報は、人間の視覚コントラストセンシティブティ関数を示す対応配列を構成するために、上で引用されたScott J. Daly 等の米国特許番号 No. 4, 780, 761 に記載された態様で使用される。

本発明をさらに別の面からみると、人間の視覚コントラストセンシティブティ関数のバンド幅は、上記で説明した正規化ファクタを計算する際の色差（R-G

及びB-G)信号に対して減少される。本発明のこの面の利点は、人間の視覚システムの減少された空間周波数応答を、色差信号R-G及びB-Gに合わせることである。こうして、データ圧縮処理のためR-G及びB-Gのデータ・ブロック用に生成される正規化配列は、Gデータ・ブロック用正規化配列とは異なり、3Gカラー・フィルタ・アレイに於ける赤色及び青色の画素の不均等な分布によって非等方的になり、減少された周波数応答を有する。好ましい実施例では、R-G及びB-Gの正規化配列の異なる特性は、エッジ強調及び画像表示振幅伝達関数に対して補償を行わないことである。

いかなる逆変換も無しで、Γ空間R、G、Bのデータ上で、前記の全ての演算が実行される。

図面の簡単な説明

下記の添付図面を参照しながら、本発明について以下に詳細に説明する。

図1は本発明の態様の1つを具体化した画像記録システムのブロック図である。

図2は本発明の態様の1つを具体化した画像再生システムのブロック図である。

図3は図1のシステムを採用したカラー画像読み取りシステムのブロック図である。

図4は本発明で採用されたΓ空間変換のグラフである。

図5は図1のシステムで実行する画像記録処理を説明する流れ図である。

図6は図2のシステムで実行された画像再生処理を説明する流れ図である。

図7は図6の処理で生じる3種類の内挿処理カラー・データ・ブロックを示す

図示している。

発明の実施態様

図1を参照すると、本発明の態様の1つを具体化した画像捕捉システムまたは画像記録システムは、レンズ10、アパーチャ12、シャッタ14を通じて被写体からビームを受ける。カラーフィルタ16はカラー・フィルタ・アレイ(CFA)18と画像センサ20の画像面を介して、ほぼ均一に画像を分布させる。画像センサ20は、技術的に既知のタイプの電荷結合型素子(CCD)であり、画像面において画素の各配列に対しアナログ電圧を発生させる。CFA18はセンサ20の各画素を重畳している赤、緑、青のフィルタの配列であり、センサ20が発生させた電圧はR、G、B(赤、緑、青)の光強度アナログ信号を示す。センサ20が発生したR、G、Bのアナログ画像信号は、従来型アナログ信号プロセッサ22で増幅され、処理される。R、G、Bのアナログ信号は、非線形アンプ24によって、従来方式でΓ空間アナログ画像信号、すなわち $r=R^{1/\Gamma}$ 、 $g=G^{1/\Gamma}$ 、 $b=B^{1/\Gamma}$ を生成し変換するために1/Γ乗される。R、G、BのΓ空間アナログ信号は、アナログデジタル・コンバータ26によりデジタルのr、g、bデータ(例えば、8ビット・バイト(8-bit bytes))に変換される。データ・プロセッサとコンプレッサ28は、データを一時的にメモリ29に格納してから、データを圧縮する。デジタル・レコーダ30は、ディジタルのデジタル格納媒体に圧縮したデータを記録する。先行する成分は従来型タイミング回路32で制御される。

図2を参照すると、本発明の他の態様を具体化した画像再生システムまたは再現システムには、ディジタル再生装置34(ディスク・プレーヤーまたはディジタル・メモリ読み出しなど)とデータ・デコンプレッサ及びプロセッサ35が含まれる。ディジタル再生装置34は、図1のディジタル・レコーダ30に記録された格納画像データSIDを受け取るか、または、図1のデータ・プロセッサとコンプレッサ28から直接に画像データIDを受け取る。デコンプレッサ35の出力は、ビデオ・ディスプレイ・プロセッサ36かハードコピー・プリント・プロセッサ37に送られる。ビデオ・プロセッサ36の出力は、カラー・ビデオ・デ

ブロック図である。

図8は図2のシステムで実行された再生画像処理及びエッジ強調処理を示すブロック図である。

図9は図8のエッジ強調回路に於けるベアリング・フィルタの応答を図示するグラフである。

図10a及び図10bは、それぞれ、図1及び図2のシステムで実行されたデータ圧縮処理とデータ伸長処理を図示している。

図11は本発明により図10aのデータ・コンプレッサで実行された空間周波数変換処理を図示している。

図12は図10aのデータ圧縮処理と図10bの伸長処理で採用された正規化配列を生成する際に、エッジ強調処理と画像表示の振幅伝達関数により人間の視覚コントラストセンシビリティ関数を図示している。

図13a、図13b、図13c及び図13dは、それぞれ、エッジ強調振幅伝達関数を示す配列、表示振幅伝達関数を示す配列、人間の視覚のコントラストセンシビリティ関数を示す配列、先行配列をカスケードして形成した配列を図示している。

図14aと図14bは、それぞれ、図13dのカスケードされた配列から得られた正規化ファクタ配列と図13cだけのコントラストセンシビリティ関数配列から得られた正規化配列を図示している。

図15aと図15bは、それぞれ、R-G画像データ・ブロックとB-G画像データ・ブロックの正規化配列を生成するコントラストセンシビリティ関数を

ディスプレイ38に送られるのに対し、プリント・プロセッサ37の出力はハードコピー・カラー・プリンタ39に送られる。

図3は、画像を捕捉する好ましいシステムを図示している。CFA18は、1024行と1280列の離散的カラー・フィルタ画素で構成される、既知のタイプの“3G”CFAであり、この場合、4番目のカラー・フィルタ画素行毎に交互に赤と青の画素を含む。残りのカラー・フィルタ画素が緑であるのに対し、R、G、Bの画素はセンサ20の各感光画素20Aで正確なレジストレーションの中にある。同様に、センサ20は1024行と1280列の感光画素20Aで構成される。図1のA/Dコンバータ26が8ビット・バイトを生成すると、1024行と1280列の8ビット画素はセンサ20が捕捉した画像を示す。しかし、画素行と画素列の数、画素当りのビット数、CFA18の特殊なカラー・パターンなどは全て設計上の選択であり、本発明を実施する際には多様性があると理解しておくべきである。

画像信号のΓ空間への変換:

図4は輝度Iから1/ΓへのΓ変換の挙動を図示している。また、図4は前記で引用したKenneth G. Parulski等の特許出願のシステムで採用された画素強度Iに關し、Iからlog Iへの対数変換を図示している。Γ変換は対数変換に較べ線形に近く、色差信号を結合するか、内挿処理する場合、より優れた結果を提供するということが起こる。以下に説明するように、本発明で示されるΓ空間変換の主な利点は画像信号を処理する際にそれ以上の変換を必要とせず、全ての画像信号(緑、赤、青)を同じカラー空間(つまり、Γ空間)で処理するので、信号処理や計算を有意に経済的にできる点である。

図5は図1のデータ・プロセッサとコンプレッサで実行されたプロセスの一連のステップを示す流れ図である。データ・プロセッサ28は、画像センサ20が捕捉した画像を示すA/Dコンバータ26からΓ空間画像データを受け取る(図5のステップ40)。図5のステップ41では、データ・プロセッサ28が3つの分離メモリ・ブロック、あるいはカラー・データ面にあるメモリ29に一時的

にデータを格納し（図1に示す）、分離メモリブロックあるいはカラーデータ面にあるメモリ29はg（「空間緑」）画素のメモリ・ブロック42またはデータ面、r（「空間赤」）画素のメモリ・ブロック44またはデータ面、b（「空間青」）画素のメモリ・ブロック46またはデータ面から構成される。好ましい実施例では、g画素メモリ・ブロック42は、1280列掛ける768行の8-ビット バイトを有し、b画素ブロック44及びr画素ブロック46は640列掛ける256行の8-ビット バイトを有する。

一定の欠測画素における充填抑制による圧縮ノイズ減少：

画像センサ20が捕捉した画像の各画素列では、4番目の緑色画素が欠測されるので（図3参照）、欠測緑色画素を垂直内挿処理により充填しなければならぬ。捕捉された画像の代替列では、欠測緑色画素の場所に4番目の赤色画素だけが存在する。画像の残りの列では、4番目の青色画素だけが存在する。それゆえ、赤色と青色画素は水平と垂直の双方で内挿処理され、欠測した赤色画素と青色画素を充填しなければならない。しかし、圧縮して記録する前に欠測画素を充填する代替方法と比較すると、画像を圧縮し、記録し、再生し、伸長後まで、欠測画素の充填を抑制することによって、再生画像のノイズが大幅に減少することが本発明によって示されている。このことは統計的方法により解析的に確認できる。

緑色画像の場合、欠測画素は全ての緑色画素の1/4に当たり、伸長された緑色画素では約12.5%まで、伸長後に欠測画素を充填する前記の方式によれば、圧縮ノイズは減少する。前記で説明したように、赤色と青色の画素はそれぞれ画像の全ての画素の1/8を構成し、以下に説明するように、赤色と青色画素は「空間の色差信号r-gとb-gとして「空間で格納され、圧縮される。伸長する前に欠測した赤色と緑色画素のr-gとb-gの色差信号を充填しないことにより、圧縮ノイズは60%台まで伸長された色差信号中では減少される事を示している。

た緑色画素の「空間値 g_{miss} を引き、b-gの色差データを求める。i番目の赤色または青色画素に対するステップ50の演算は以下のようにまとめられる。

$$(r-g)_i = r_i - g_{ri} (miss)$$

$$(b-g)_i = b_i - g_{bi} (miss)$$

但し、 $(r-g)_i$ はi番目のr-gの色差画素の値であり、 r_i はi番目の「空間の赤色画素の値であり、 $g_{ri} (miss)$ はi番目の赤色画素の位置に内挿処理された欠測緑色画素の「空間値とする。また、 $(b-g)_i$ はi番目のb-gの色差画素の値とし、 b_i はi番目の「空間の青色画素の値とし、 $g_{bi} (miss)$ はi番目の青色画素の位置にある内挿処理された欠測された緑色画素の「空間値とする。

ステップ52では、ステップ50で生成された色差データは3つの分離メモリ・ブロックあるいはカラーデータ面（図1に示した）中のメモリ29に、内挿処理されていない緑色画素と共に格納され、メモリ29は「空間緑色画素を表わす1280列、68行の8-ビット バイトのメモリブロック54及び「空間r-g色差データからなる640列、256行の8-ビット バイトのメモリブロック56と、b-gの色差データからなる640列、256行の8-ビット バイトのメモリ・ブロック58から構成される。色差データを生成するために充填した欠測緑色画素を表示するデータはその後廃棄する。

図5のステップ61では、データ・プロセッサ28は図1のメモリ・ブロック54、56、58のそれぞれに格納したデータを別々に圧縮する。ステップ62では、デジタル・レコーダ30はデータ格納媒体に圧縮データを記録する。

図6は図2のデータ・プロセッサ35で実行された再生処理の連続するステップを示す流れ図である。再生位置34からの圧縮データは圧縮されていないデータ面、あるいは、図1のブロック54、56、58に対応する。このデータは、図1のデータ・プロセッサ28で実行された圧縮処理を逆に利用し、図6のステップ64でデータ・プロセッサ35が伸長し、図1のカラー・データ面、あるいはメモリ・ブロック54、56、58に対応する伸長データを生成する。その後、ステップ66では、緑（g）のデータとr-g及びb-gの色差データを内挿処理することによって、欠測緑色、赤色、青色画素を計算し、欠測画素を有しない

圧縮のための「空間色差信号の生成：

再度、図5を参照すると、前に説明したように、データ・プロセッサ28は圧縮前に欠測した赤色と青色画素を補足していない。しかし、データ・プロセッサ28は欠測していない赤色と青色画素を圧縮する前に、r-gとb-gの「空間色差信号を生成する。これを実現するために、赤色と青色各々の画素の位置で、欠測緑色画素を計算する。3G CFA 18の下記の列パターンでは、各々の列に「空間の緑色画素データを内挿処理し、欠測緑色画素 g_{miss} が充填される（図5のステップ48）。

g_1
 g_2
 g_3
 g_{miss}
 g_4
 g_5
 g_6

下記の中心置き平均を使用する。

$$g_{miss} = A \times g_1 + B \times g_2 + C \times g_3 + C \times g_4 + B \times g_5 + A \times g_6$$

但し、

$$A < B < C$$

好ましい実施例では、次のようになる。

$$A = .218$$

$$B = .563$$

$$C = .844$$

図5のステップ50では、データ・プロセッサ28はCFA配列に存在する赤色と青色画素に対して「空間の色差信号r-gとb-gだけを計算し、それによって、圧縮前に欠測した赤色画素または青色画素の充填を抑制する。このようにして、ステップ50では、データ・プロセッサ28が各「空間の赤色画素値rから対応する欠測緑色画素の「空間値 g_{miss} を差分し、r-gの色差データを求める。同様にして、プロセッサ28は各「空間の青色画素値bから対応する欠測し

図7に図示した「空間のカラー画像データのブロック68を形成する。図6の内挿処理ステップ66は以下に示す3ステップで構成される。まず、垂直に内挿処理によって欠測緑色画素を充填し（図6のステップ70）、次に、欠測色差（r-g及びb-g）画素を水平に内挿処理（図6のステップ72）し、次に、垂直に内挿処理する（図6のステップ74）。図7を参照すると、ブロック68は、それぞれ、「空間の赤色、緑色、青色画素を示す1280列と1024行の8-ビット バイトで構成される3つの配列、あるいは、カラー・データ面76、77、78からなる。

図6の緑色画素の内挿処理ステップ70は図5の緑色画素の内挿処理ステップ48と同じ方式で実施される。図6の水平内挿処理ステップ72は、伸長ステップ64で復号された伸長画像データに於ける代替可能なr-g及びb-gの画素の4番目の画素行中の欠測赤色及び青色画素を充填する。伸長データの4番目の画素行では、「空間のr-g画素の代表的なシーケンスは次のようになる。

$$(r-g)_1; (r-g)_{miss}; (r-g)_2; \dots$$

これに対し、「空間のb-g画素の代表的なシーケンスは次のようになる。

$$(b-g)_1; (b-g)_{miss}; (b-g)_2; \dots$$

ここで、添字 "miss" は欠測画素を示す。図3のCFA 18の4番目の行にある赤色と青色の画素の対応シーケンスは以下のようになる。

$$r_1, r_{miss}, r_2, \dots \text{及び}$$

$$b_1, b_{miss}, b_2, \dots$$

但し、 r_{miss} と b_{miss} はCFAパターンにおける欠測した赤色と青色の画素である。伸長されたr-g及びb-gの「空間データを用いた、欠測された「空間の赤色と青色画素の水平内挿処理は、以下の通りである。

$$r_{miss} = g_{r_{miss}} + .5 \times [(r-g)_1 + (r-g)_2] \text{ 及び}$$

$$b_{miss} = g_{b_{miss}} + .5 \times [(b-g)_1 + (b-g)_2]$$

但し、 $g_{r_{miss}}$ と $g_{b_{miss}}$ は、それぞれ、欠測赤色及び青色の画素 r_{miss} と b_{miss} の場所の緑色画素である。もちろん、欠測していない赤色と青色の画素 r_1 と b_1 を（色差信号から）計算するときは、このような内挿処理は不要である。

$$\begin{aligned} r_1 &= g_{r1} + (r - g)_1 \\ b_1 &= g_{b1} + (b - g)_1 \end{aligned}$$

ここで、 g_{r1} と g_{b1} は、それぞれ、 r_1 と b_1 の位置で内挿処理された欠測緑色画素であり、 $(r - g)_1$ と $(b - g)_1$ は r_1 と b_1 に対応する色差信号である。

図6の垂直内挿処理ステップ74は4画素行から3行毎に発生する欠測赤色画素と青色画素を補足する。ブロック72の水平内挿処理ステップに続いて「空間の赤色と青色の画素は各画素列に対し下記のパターンを有する。

$$\begin{array}{cc} r_1 & b_1 \\ r(\text{miss})_1 & b(\text{miss})_1 \\ r(\text{miss})_2 & b(\text{miss})_2 \\ r(\text{miss})_3 & b(\text{miss})_3 \\ r_2 & b_2 \end{array}$$

欠測赤色画素は欠測赤色画素の近接に従って、重みを付けた色差信号に対応する緑色画素を加えることにより、ステップ74で「空間に垂直内挿処理され、以下になる。

$$\begin{aligned} r(\text{miss})_1 &= g_{r(\text{miss})_1} + A \times (r_1 - g_1) + B \times (r_2 - g_2) \\ r(\text{miss})_2 &= g_{r(\text{miss})_2} + C \times (r_1 - g_1) + D \times (r_2 - g_2) \\ r(\text{miss})_3 &= g_{r(\text{miss})_3} + E \times (r_1 - g_1) + F \times (r_2 - g_2) \end{aligned}$$

ここで、 $g_{r(\text{miss})_i}$ はi番目の欠測赤色画素 $r(\text{miss})_i$ の位置にある緑色画素の「空間値であり、 g_1 と g_2 は赤色の画素 r_1 と r_2 の位置にあって、内挿処理された欠測緑色画素値である。ステップ74では、むしろ、 $A=F=7/5$ 、 $C=D=1$ 、 $B=E=0$ となるのが好ましい。欠測青色画素は同様の方法で垂直に内挿処理される。

まとめると、色差信号、圧縮、伸長を含む圧縮前の信号処理及び欠測された赤色、緑色、青色の全ての画素の「空間で行われる内挿処理を含む伸長後の処理な

画素の各行に対して、この計算を行う。各画素に対して、垂直帯域通過フィルタ・ステップ82で計算された新「空間値と水平帯域通過フィルタ・ステップ84で計算された新「空間値はステップ86で加算され、垂直と水平の双方の帯域通過フィルタ・ステップ82と84の結果を反映した、2次元的な帯域通過フィルタを通した「空間画素値を生成する。

高空間周波数成分を昇圧する際に発生する問題として、ノイズはある軸に沿って昇圧するよりも他の軸に沿って昇圧する方が多くなることが挙げられる。CCD配列から抽出されている画像信号によって一列ずつの電荷転送処理による代表的なCCD画像配列で生成された画像では、このことは全く真実である。この問題を解決するために、垂直帯域通過フィルタ・ステップ82の出力と追加ステップ86の間に低域フィルタリング・ステップ88を置いている。従来のトランスバースフィルタリング技法を利用して、低域フィルタリング・ステップ88は係数シーケンス1-2-1を使用してデータ・ストリーム内の現在ある画素の直前と直後の2つの隣接画素を基礎として、各画素の低域帯域通過フィルタを通した「空間値を計算することが好ましい。このようにして、垂直列または3つの緑色画素 g_1 、 g_2 、 g_3 のシーケンスにおいて、低域帯域通過フィルタを通した g_2 の「空間値は以下のように計算される。

$$g_2 = 1 \times g_1 + 2 \times g_2 + 1 \times g_3$$

その他の適当なフィルタ係数シーケンスは、当業者により選択可能である。

画像のエッジ強調に関するもう1つの問題は、既に充分に鮮鋭化されている画像特性を過剰に鮮鋭化してしまうことである。この問題を解決するために、加算ステップ86で生成された「空間画素データは、「ベアリング」またはフィルタリングのステップ90によって削られる。ここで使用されるように、ベアリングとは高振幅減衰を言う。8ビット・データの0から255までの入力振幅範囲に関するベアリング・ステップ90の非線形転送関数を、図9に図示した。入力信号は g_{in} であり、出力信号は g_{out} である。必然的に、絶対値0から32までの入力振幅に対しては、1のゲインが提供される。この実施例では、 g_{out} の絶対値は決して32を超えることはない。絶対値32を超える入力振幅に関しては、

どでは、データの暫定的変換は不要である。暫定的変換すべての領域は、処理速度、ハードウェアの経済性、画質などに大きな利点を与えている。

「空間エッジ強調処理：

図6の伸長と内挿処理が完了した後、図2のデータ・プロセッサ35は本発明の「空間エッジ強調処理によって内挿処理された赤色、緑色、青色の画素を示す図7の「空間データを強調するか、または、鮮鋭化する。データはビデオ表示の場合はビデオ・プロセッサ36により従来の方法で作成され、プリントアウトの場合は、プリント・プロセッサ37により従来の方法で作成される。エッジ強調処理、ビデオ処理、プリント処理については図8に図示している。図8に図示したように、大部分のエッジ強調処理は従来のビデオ処理と並行するか、あるいは従来のプリント処理と並行して実行される。

図8の「空間エッジ強調処理80は入力として輝度関連（緑色）「空間データ（つまり、図7のブロック77）だけを要求する。この処理は、垂直帯域通過フィルタ・ステップ82と水平帯域通過フィルタ・ステップ84を同時に実行する。2つの別個の帯域通過フィルタ・ステップ、帯域通過フィルタ・ステップ82及び84はオリジナル画像に戻して加えられる画像から高空間周波数成分を取り除き、オリジナル画像の振幅を大きくして、画像を鮮鋭化する。従来のトランスバースフィルタリング技法を用いて、垂直帯域通過フィルタ・ステップ82は現在処理されている画素と同じ列内にある隣接画素の値を基礎として、各「空間緑色画素の新たな値を計算する。垂直帯域通過フィルタ・ステップ82は与えられた列の各画素と、図7のデータ・ブロック77にある「空間緑色画素の各列に対して、この計算を行う。

同様の方法で、従来の横フィルタ技法を利用して、水平帯域通過フィルタ・ステップ84で現在処理している画素と同じ行内にある隣接画素の値を基礎として、各「空間緑色画素の新たな値が計算される。水平帯域通過フィルタ・ステップ84は与えられた行の各画素と、図7のデータ・ブロック77中にある「空間緑色

ゲインは速やかに1以下に下がり、最大入力絶対値255に達する。このようにして、最高振幅、高空間周波数成分（例えば、非常に鮮鋭でコントラストの強いエッジ）の仮想的鮮鋭化は、昇圧されないために実行されず、このことは大きな利点となる。

以下に説明するように、強調された、あるいは鮮鋭化された画像又はこのようにしてベアリング・ステップ90の出力時に生成された画素値は、3ブロックあるいはカラー・データの面（緑色と同様、赤色、青色）全てと結合される。

図2のビデオ・プロセッサ36によって実行されるビデオプロセッシングステップ94と、図2のプリント・プロセッサ37で実行されるプリントプロセッシングステップ96では、「空間 r 、 g 、 b のデータが（各「空間画素の振幅を「乗して計算することによって）線形空間に逆変換される。次に、ビデオ処理ステップ94とプレプリント処理ステップ96は、従来の技法を採用して、それぞれ、ビデオ・ディスプレイまたはプリンタへの出力用の R 、 G 、 B 信号を作成する。特に、カラー信号はビデオ・モニターあるいはプリンタ/プリント媒体の特定のカラー定数に従って調整されなければならない。プリンタと媒体の場合、従来の技法を利用して密度の修正を行い、更に調整をしなければならない。次に、ビデオ処理ステップ94とプレプリント処理ステップ96はカラー調整されたデータを「空間に逆変換する。ビデオ処理ステップ94によって出力された「空間の緑色、赤色、青色画素値は加算及びクリッピング・ステップ98で、エッジ強調処理80によって出力された対応する鮮鋭化画素値と結合され、ビデオ処理された緑色、赤色、青色のビデオ・カラー画像がそれぞれ個々に鮮鋭化される。その結果得られたビデオ処理データはカラー・ビデオ表示システムに送られる。プリント処理ステップ96によって出力された「空間の緑色、赤色、青色画素値及びクリッピング・ステップ100で、エッジ強調処理80によって出力された対応する鮮鋭化画素値と結合され、プリント処理された緑色、赤色、青色の画像をそれぞれ個々に鮮鋭化する。その結果得られたプリント処理画像データはステップ102でプリンタと互換性のある他の空間（例えば対数など）に変換され、プリンタに送られる。

圧縮画像の各成分のビット解像度を制御するカスケードされた振幅伝達関数:

画面の圧縮誘導ノイズを肉眼で更に良く見えるようにするという、エッジ強調処理の問題を解決するために、図5の処理のステップ61で生成された圧縮データの各空間周波数成分のビット解像度(つまり、代表ビット数)を決める正規化ファクタの計算においては、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数と共にエッジ強調処理振幅伝達関数を考慮に入れる。画像に於ける圧縮誘導ノイズの肉眼での可視性に關し、ビデオ・ディスプレイの効果を内挿処理するために、正規化ファクタを計算する際にも、考慮される。一般に、圧縮ノイズが肉眼的可視性に影響を与える傾向がある画像記録/再生処理におけるいずれかのステップの振幅伝達関数は本発明に従い人間の視覚コントラストセンシビリティ関数と共にカスケードされ、圧縮処理のため正規化ファクタの配列を生成する。これについては、図1のデータ・コンプレッサ28によって実行される図5の圧縮ステップ61と図2のデータ・デコンプレッサ35によって実行される図6の伸長ステップ64を参照して説明する。

図10aは図5のステップ61におけるデータ・プロセッサ28によって実行される圧縮処理の詳細を図示したものである。この処理は g 、 $r-g$ または $b-g$ の「空間メモリ・ブロック」、あるいは、(図1の)カラー・データ面54、56、58の1つを個々に取り上げることによって始まり、それを画素の多数の小さな変換ブロックに分割する(図10aのステップ116)。このステップは図11で更に詳細に説明する。好ましい実施例では、小さな各変換ブロックは16行と16列の画素 $i(x, y)$ を持つ。再度、図10aを参照すると、このようにして生成された各 16×16 変換ブロックは、離散コサイン変換(DCT)ステップ118によって変換され、 16×16 ブロックのDCT係数 $T(i, j)$ を生成する。DCT係数ブロックはステップ120でDCT係数 $T(k)$ の流れにシーケンス化される。圧縮データにおいて係数を示すコード化ビット数は、正規化ステップ124と量子化ステップ126によって決定される。正規化ステップ124は、正規化配列生成ステップ125によって特定の係数に対して生成された正規化ファクタにより、シーケンス化した 16×16 のDCTブロック中の

各DCT係数 $T(k)$ を分割する。正規化ステップ124は正規化係数 $TN(k)$ を生成する。特定係数の圧縮バージョンを示すコード化ビット数は、ほぼ、正規化ファクタの振幅に逆比例する。量子化ステップ126は各正規化係数 $TN(k)$ を量子化し、量子化係数 $\hat{T}N(k)$ を生成する。正規化された量子化されたDCT

係数 $\hat{T}N(k)$ はステップ128でコード化された最小冗長度(Huffman)とコード化されたラン・レングスとなり、圧縮DCT係数 $CV(k)$ を構成するコード化ビットを生成させ、これで圧縮処理は完了する。前記のScott J. Daly 等の米国特許出願番号No. 4, 780, 761で説明されているように、正規化配列生成ステップ125は、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数を内挿処理するのと同じ方式で、 16×16 ブロックのDCT係数に関連して 16×16 配列の正規化ファクタ $N(k)$ を生成する。本発明によれば、以下に説明するように、正規化配列生成ステップ125はエッジ強調処理(または必要に応じて、他の画像信号処理)の振幅伝達関数と画像表示の振幅伝達関数をも内挿処理する。

図10bは、図6のステップ64でデータ・プロセッサ35によって実行される伸長処理の詳細を図示したものである。この処理の最初のステップ(図10bのステップ130)では、圧縮DCT係数 $CV(k)$ は最小冗長度(Huffman)コードとラン・レングス・コードにより復号され、正規化係数 $\hat{T}N(k)$ を生成する。正規化係数はステップ132で逆正規化され、DCT係数 $T(k)$ を生成する。逆正規化ステップ132は各DCT係数に、前に圧縮処理で除した正規化ファクタと同じ正規化ファクタを掛けて完了する。この目的のために、図10aの圧縮処理の正規化配列生成ステップ125が図10bの伸長処理に於ける正規化配列生成ステップ125'として繰り返される。ある実施例では、図10bの正規化生成ステップ125'は正規化ファクタの逆数 $N^{-1}(k)$ を備えている。DCT係数 $T(k)$ はステップ136で 16×16 ブロック $T(i, j)$ に再フォーマットされ、ステップ138で変換されたDCTを 16×16 画像ブロック $i(x, y)$ に変換される。このようにして生成された画像ブロックは、ステップ140で一掃にアセンブルされ、再生された g 、 $r-g$ または $b-g$ の画像を形成する。

図12は、正規化配列生成ステップ125が正規化配列 $N(k)$ を形成するために異なる振幅伝達関数とコントラストセンシビリティ関数をどのようにカスケードするかを図示している。本質的には、異なる処理(つまり、エッジ強調処理、画像表示処理、人間の視覚認知処理)の振幅伝達関数との相関関係に適合した異なる単位で、 16×16 ブロックの各DCT係数の支配的な空間周波数が推定される。最初のステップ(図12のステップ142)では、DCT係数を生成するために使用された離散変換において採用された特別なパラメータに基づき、各DCT係数のブロック当りのサイクル単位で周波数を計算する。次に、図12のステップ144で、各DCT係数のブロック当りのサイクル数と、各ブロックの画素の行数(Bx)及び列数(By)、好ましい実施例では16行と16列とから、画素当りのサイクル数が計算される。図8のエッジ強調処理の2次元振幅伝達関数は、当業者によって通常の技法を使用して容易に生成され、ステップ144の次元、つまり、画素当りのサイクル数で最もよく表示される。ステップ144の結果はエッジ強調振幅伝達関数から得た振幅を、画素当りのサイクル数における支配的な空間周波数に基づき各DCT係数と関連させることによって、ステップ146で利用する。これにより 16×16 のエッジ強調振幅伝達関数配列を生成する。図13aでは、3次元表面の形状は図8のエッジ強調処理80の2次元振幅伝達関数に対応する。図13aの3次元表面にスーパーインポーズされたグリッド内の交差点はステップ146の個々のDCT係数と関連する振幅となる。

次に、図12のステップ148では、例えば、図3のCFA18の画素対画素のスペーシング Px 、 Py から、及び、画素当りのサイクル数から、各DCT係数の単位距離(例えば、mm)当りのサイクル数を計算する。画像表示の2次元振幅伝達関数は適用する画像表示に採用される既知の特性から通常の技法を利用して簡単に生成され、当然の結果として単位距離(mm)当りのサイクルの単位で最もよく表わされる。印刷された媒体のテクスチャ及びエッジの知覚が例えば、媒体上にスペーシングされた画素によって影響されるという事実が生じる。次に、ステップ150は表示振幅伝達関数からの振幅を、mm当りのサイクル単位にお

ける空間周波数に基づき各DCT係数と関連させて、ステップ148の結果を利用する。これは 16×16 画像表示振幅伝達関数配列を生成する。図13bでは、3次元表面の形状は画像表示の2次元振幅伝達関数に対応する。図13bの3次元表面にスーパーインポーズされたグリッド内の交差点はステップ150の個々のDCT係数と関連する振幅となる。

次に、ステップ152では、mm当りのサイクル数と、観測者とディスプレイ間の仮想距離 V から、各DCT係数に関する視覚角度(あるいはサブテンス)当りのサイクル数が計算される。2次元の人間の視覚コントラストセンシビリティ関数(CSF)は、上記Scott J. Daly 等の米国特許出願番号No. 4, 780, 761の技法によって求められ、視覚角度当りのサイクル単位で最もよく示される。CSFのある面は画像までの距離の影響を受けている高空間周波数の目の知覚を反映している。ここでは説明していない他の面もある。図12のステップ154は人間の視覚コントラストセンシビリティ関数からの振幅を1度当りのサイクル単位における空間周波数に基づく各DCT係数と関連させて、ステップ152の結果を利用する。その結果は 16×16 の人間コントラストセンシビリティ関数配列となる。図13cでは、3次元表面の形状は画像表示の2次元コントラストセンシビリティ関数に対応する。図13cの3次元表面にスーパーインポーズされたグリッド内の交差点はステップ154の個々のDCT係数と関連する振幅となる。

表示及びエッジ強調の振幅伝達関数配列は乗算ステップ156における係数かける係数と一緒に乗算され、乗算ステップ158でその結果得た 16×16 の振幅配列にコントラスト感度配列を掛け、図13dに示したカスケードされた配列を算出する。その結果得たカスケードされた配列の各要素をステップ160で逆数を取り、ビット伝送速度ファクタを掛け、図14aに示した正規化配列を算出する。正規化配列は、例えば、ルックアップ・テーブルにロードできる。この結果(図14a)は、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数だけを考慮した図14b(前記Scott J. Daly 等の米国特許出願で開示)の正規化配列と明確な

対照を示している。

色差信号に対する目の低周波数応答を内挿処理するために、 $r-g$ や $b-g$ の色差信号を圧縮において使用される正規化配列生成ステップ125によって、異なる正規化配列が算出される。このために、図10aの正規化配列生成ステップ125を、それぞれ、「green (緑色)」、「red-green (赤色-緑色)」、「blue-green (青色-緑色)」とラベル表示した、3つの生成ステップ125a、125b、125cとして使用する。正規化配列生成ステップ125a、125b、125cの中から適当な1つが、それは緑色信号を圧縮するか、色差信号の1つを圧縮するかによって選択される。こうして、 g 、 $r-g$ 、 $b-g$ のデータ・ブロックそれぞれに、異なる正規化配列が使用される。同様に、図10bの正規化配列生成ステップ125'は個別の正規化配列生成ステップ125'a、125'b、125'cに分割される。

前記 Scott J. Daly 等の米国特許出願番号No. 4, 780, 761に記載されたように、人間の視覚コントラストセンシビリティ関数モデルを変えることにより、色差信号に対する正規化配列は色差信号に対する低周波数の人間の視覚応答を内挿処理する。特に、以下に示す人間の視覚コントラストセンシビリティ関数モデル式において、周波数変数 r に1より大きい係数を掛ける。

$$R(r) = HA \times (HB + HC \times r) \exp(-HC \times r) HD$$

$r-g$ 色差データ・ブロックに関しては、この係数は好ましくは2となり、 $r-g$ 色差信号に関しては、モデル式は次のようになる。

$$R(r) = HA \times (HB + HC \times 2r) \exp(-HC \times 2r) HD$$

$b-g$ 色差データ・ブロックに関しては、係数は好ましくは4と等しくなる。これに結果として得たコントラストセンシビリティ関数の有効帯域を減少させるので、緑色に対する目の応答と較べると、 $r-g$ 及び $b-g$ の色差に対する目の低周波数応答を調整することになる。2次元の人間の視覚コントラストセンシビリティ関数を生成させ、そこから16×16コントラストセンシビリティ関数配列を生成算出する残りのステップは上記Daly等の米国特許に記載されている。

ため、ここでは説明しない。

CFAには異なるカラーに関して異なる画素対画素スペーシングまたはパターンがあり(図3参照)、また、周波数変数 r に対するファクタが $r-g$ と $b-g$ のブロックで異なるため、図12のステップは各色信号に対し異なる正規化配列を生成する。例えば、図15aは $r-g$ の正規化配列を、図15bは $b-g$ の正規化配列を図示した。

輝度関連カラーが緑色であり、色関連信号は $r-g$ 及び $b-g$ である3C CFAを使用した好ましい実施例を引用して本発明を説明してきたが、本発明を実施する際には、別のカラー体系、別の空間パターン、別の輝度関連カラー、別の色関連信号や色差信号のセットなどを有する他のCFAを採用してもよい。

本発明では、好ましい実施例を引用しながら詳細に説明したが、本発明の本質と範囲から離れることなく、上記説明の変更及び修正も可能である。

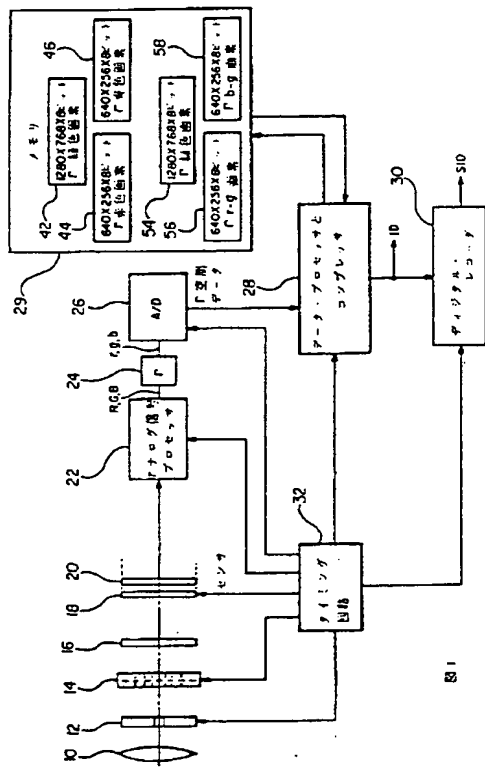


図1

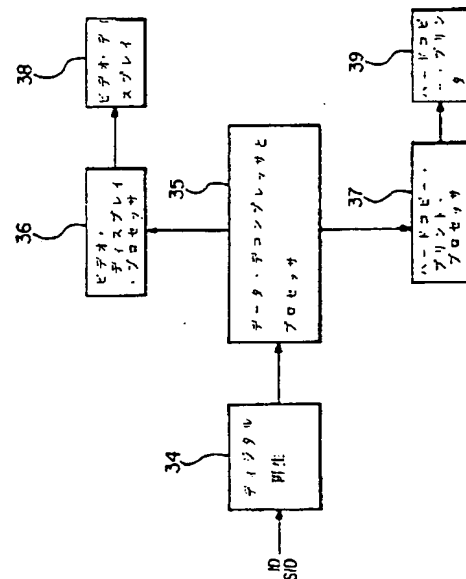


図2

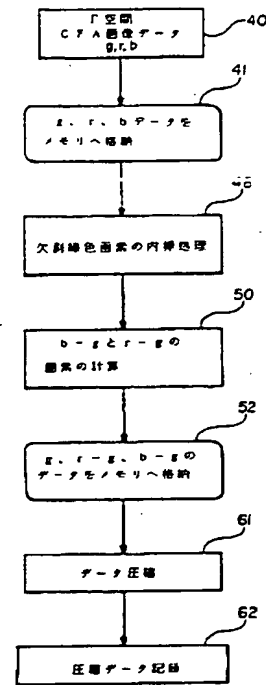
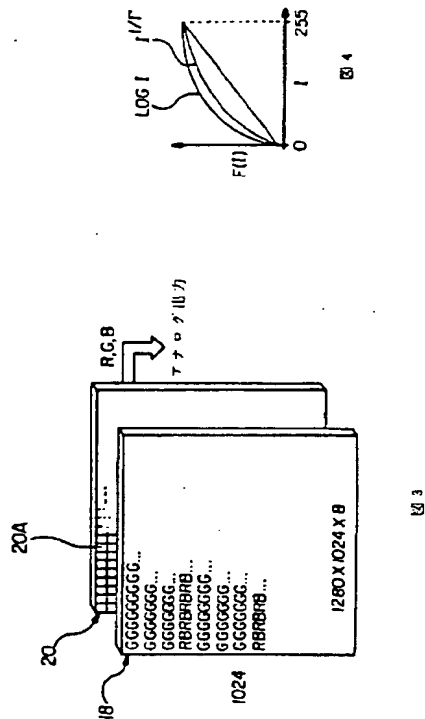


図 5

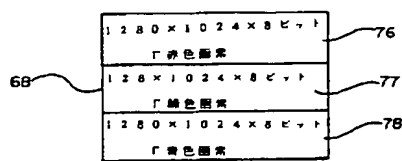
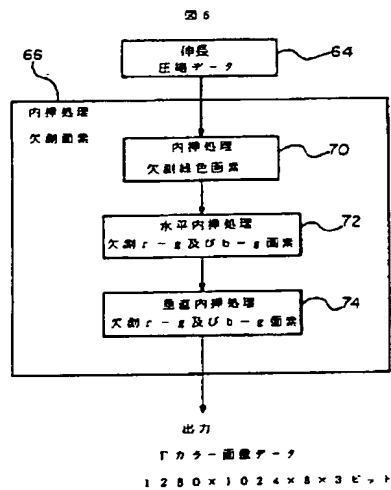


図 7

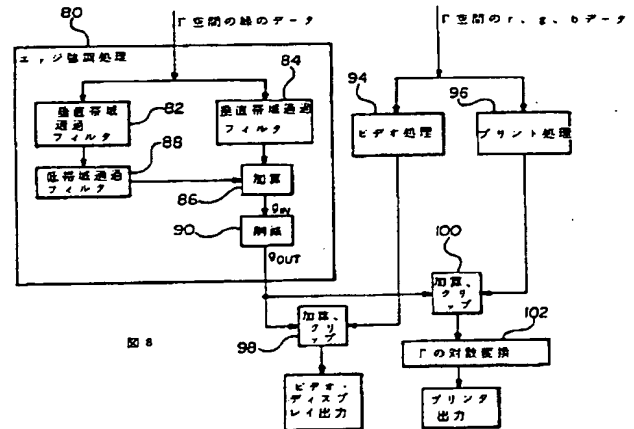


図 8

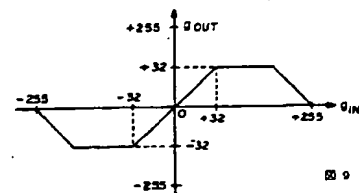
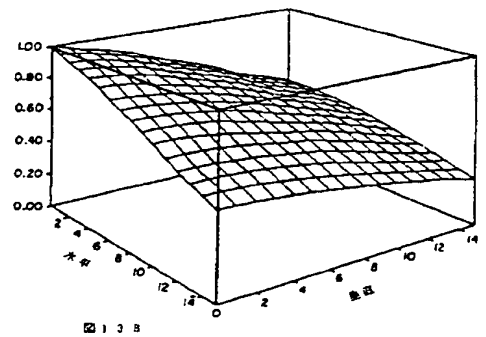
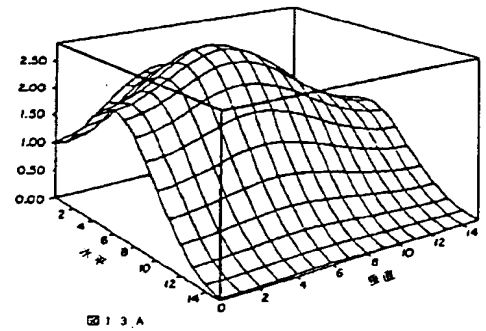
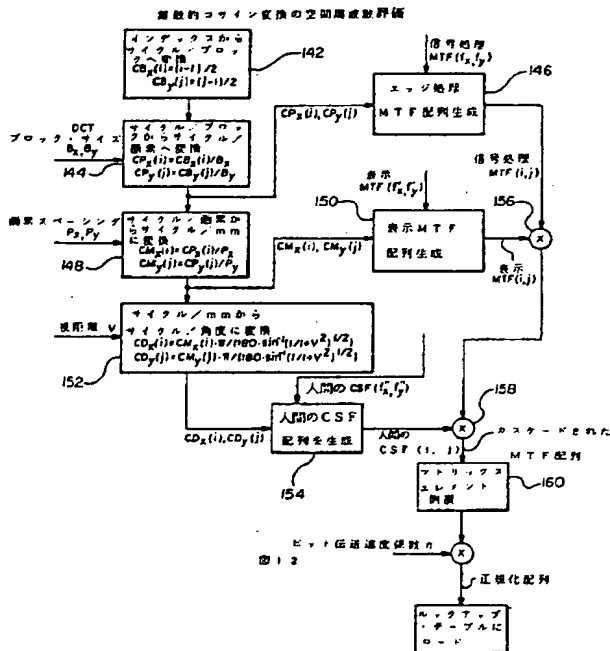
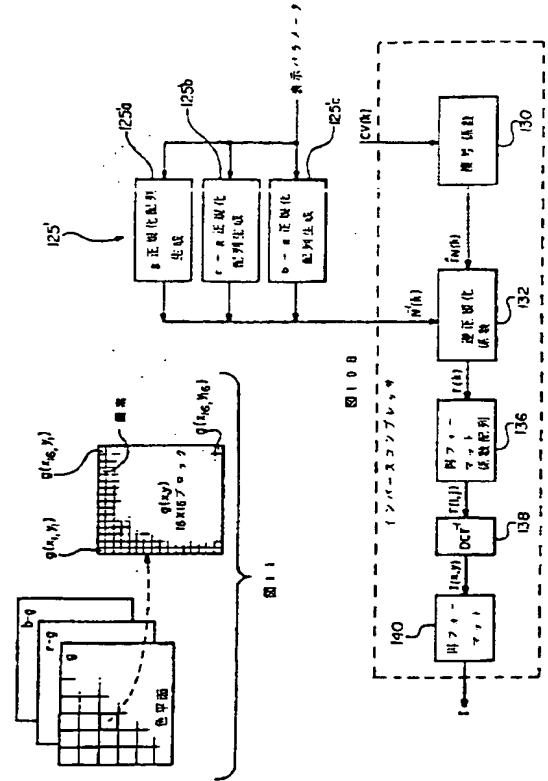
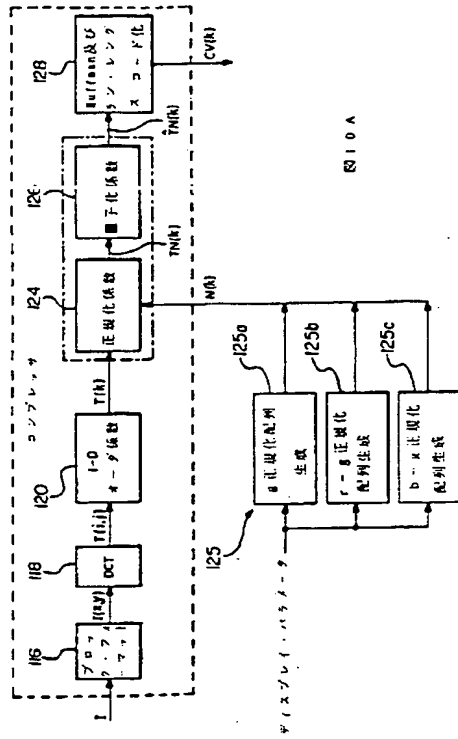
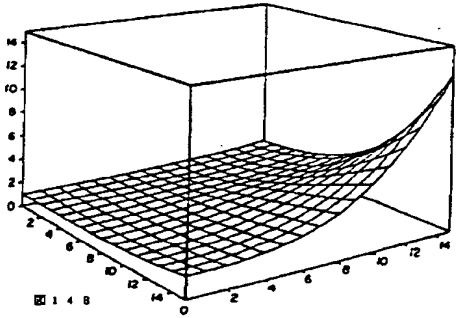
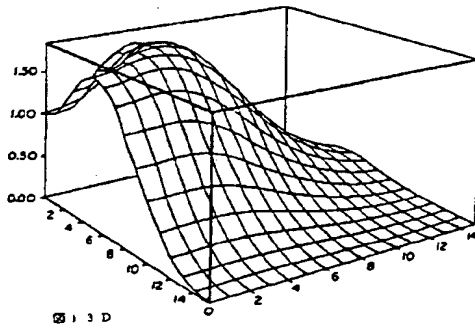
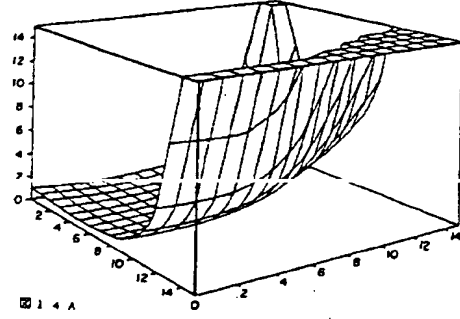
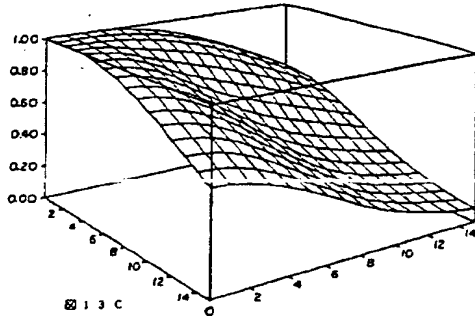


図 9

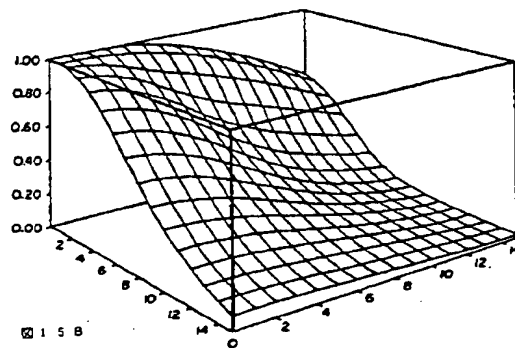
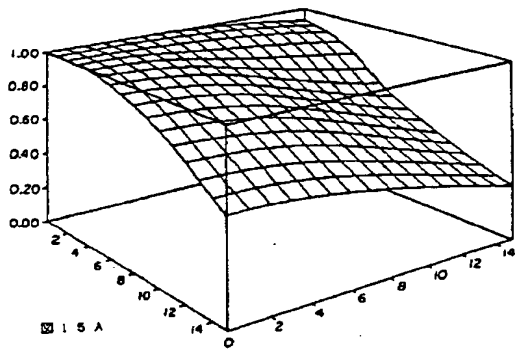




シングル・センサ画像システム用のカラー内挿処理を伴う画像圧縮

発明の要約

本発明によれば、カラー・フィルタ・アレイを有するシングル・センサからの R、G、B カラー画像信号は、それぞれ、 $R1/\Gamma$ 、 $G1/\Gamma$ 、 $B1/\Gamma$ に変えることによって、全て Γ 空間に変換される。ここで、 Γ は約 2.4 とする。この空間では、色差生成、色差生成に必要な欠測画素の内挿処理、圧縮、伸長、エッジ強調及び欠測画素の最終内挿処理などの全ての演算を、それ以上画像信号を変換せずに実行する。同じ最終ビット伝送速度にとって、画像データの圧縮前に欠測されたカラー画素を内挿処理を控えることによって、再生画像のノイズは減少される。既に十分に鮮鋭な画像の特徴を過度に強調しないようにするために、水平及び垂直の鮮鋭化処理の結合された出力はそれらの振幅の関数として強い高空間周波数成分を抑える本発明のベアリング処理を行う。本発明の圧縮・伸長処理では、各空間周波数変換画像の各空間周波数係数は、空間周波数領域においてヒト視覚システムコントラストセンシビリティ関数、エッジ強調振幅伝達関数及び画像表示振幅伝達関数にカスケードされること、その結果得られた行列要素を逆転することによって決定された正規化ファクタで除かれる。



PCT/US 91/08767

Form 9-750-000 (October 1964)

U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1965

ANNEXE

de la loi de répartition internationale relatif à la demande de brevets internationaux n°

Le présent annuaire inclut les adresses de la famille de brevets relatifs aux documents et brevets cités dans le rapport de recherche international visé ci-dessus. Les renseignements fournis sont fournis à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité

-16-